引用格式：肖骁, 谢晓萍, 李京忠, 等. 新时代城市空间结构变革与转型. 中国科学院院刊, 2023, 38(8): 1118-1129, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20221213002.
Xiao X, Xie X P, Li J Z, et al. Urban spatial structural change and transformation in the new era. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38 (8): 1118-1129, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20221213002. (in Chinese)

新时代城市空间结构变革与转型

肖 骁[1,2,3] 谢晓萍[2] 李京忠[1,4] 谢 潇[1] 薛 冰[1*]

1 中国科学院沈阳应用生态研究所 沈阳 110016
2 德累斯顿工业大学 建筑学院 德累斯顿 D01069
3 中国科学院大学 北京 100049
4 许昌学院 城市与环境学院 许昌 461000

摘要 城市空间结构是城市可持续发展治理及规划的重要抓手。如何科学认识新时期城市空间结构是深化城市认知并进行人与自然和谐调控的基础。文章简要回顾传统城市空间结构理论的时代背景，通过对新时期技术革命、政策和社会经济环境的分析，指出城市空间结构在组织原则、组织方式、优化目标及要素成分方面的变革性转向，阐明传统理论用于解释新时代城市治理的局限性。提出从人地地域系统理论出发重构城市空间结构研究范式、重新认识城市空间结构载体空间、强化城市空间结构关系解析，以及革新城市空间结构测度体系等新时代认识路径。未来应对城市空间结构认知方面挑战的关键举措，即重构城市空间结构理论、集成城市空间结构解析关键技术、融合应用多源数据、建设城市空间结构优化调控的数字孪生平台。

关键词 城市治理，城市空间结构，可持续发展，新时代

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20221213002

CSTR 32128.14.CASbulletin.20221213002

新时代人与自然和谐发展的核心科学理论基础是人地关系地域系统理论[1]。在系统要素及其要素流作用下，人与自然系统的结构错综复杂，通常划分为生态环境结构、经济结构与社会结构[2]。从20世纪起，钱学森提出集成运用定性与定量方法研究人地关系巨系统的结构与功能[3]；随后，吴传钧等进一步强调了人地关系地域系统结构研究的意义[4]。城市是最为典型的复杂人地关系系统，预计2050年城市人口将占比68%[5]，城市贡献了大约90%的经济活动，同时也产生70%的温室气体排放[6]。城市结构的空间属性被称

*通信作者
资助项目：国家自然科学基金项目（41971166），中国科学院区域发展青年学者项目（2021-003）
修改稿收到日期：2023年7月13日

为城市空间结构，是指城市要素的空间分布和相互作用的内在机制，使各个子系统整合成为城市系统[7]。实际上，当前是工业革命末期和信息革命初期的交汇期，城市系统人与自然交互作用机理、过程、格局及其综合效应也正在发生深刻变化[8]。工业化、全球化、信息化时代，城市系统内人流、物流、信息流的方向和效率不断变化[9]，例如樊杰和郭锐[10]、王士君等[11]、盛科荣等[12]学者认为城镇体系结构已从等级制向关系制转变。

新时代城市发展目标也要求我们重新认识城市空间结构。在联合国2030年可持续发展目标、联合国《新城市议程》、《巴黎协定》及中国《国家新型城镇化规划（2014—2020年）》《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》等新发展框架下，城市也需要从单纯追求经济创造目标向人与自然和谐方向迈进[13]。顾朝林[14]、曹小曙[15]、于贵瑞[16]、赵瑞东[17]等先后提出产业结构转型、减少通勤距离、紧凑型城市形态等城市空间结构调整手段以减缓和适应气候变化；陆大道[18]、陈明星[19]、樊杰[20]等将城乡人口流动和社会融合列为推进新型城镇化的核心议题；以柴彦威[21]、周素红[22]、王德[23]等为代表的学者主张通过更多的居民行为来认识城市空间。新技术促进了城市空间结构变革，但也为重新认识城市空间结构提供新的数据源和方法论支持。正如吴炳方[24]、李清泉[25]、刘瑜[26]、甄峰[27]、薛冰[28]等探索发现，新型测绘、移动互联网、大数据等现代信息技术为观察城市系统多要素、多过程、多尺度特征提供新的可能。以上这些变革和相关研究转型的趋势，需要用新的理论、方法、路径来认识新时代城市空间结构。本文将回顾城市空间结构传统理论与城市空间结构变革的新时代背景，揭示传统理论在支持新时代城市空间结构认识的局限，提出从人地关系地域系统理论出发的认识路径、趋势及其面临的挑战，以期促进全球可持续发展、联合国《新城市议程》、高质量发展等战略目标中以城市空间结构再认识为根本需求的我国城市规划实践。

1 传统城市空间结构理论产生的时代背景

传统的城市空间结构理论产生自工业革命初期，通常分为物质空间视角和社会空间视角。

物质空间结构理论可以追溯到20世纪初的工业区位论，从运输费用、劳动力成本解析工业空间选址的动因[29]。20世纪30年代，城市的空间形态与规模等级逐渐被关注，由此产生中心地理论等经典理论[30]。二战以后，技术进步和创新使得交通成本不再是影响工厂选址的主要区位因子，而劳动力和制度等却成为产业区位的重要考虑因子。20世纪60年代，大城市人口高度集中和无序蔓延等问题引发学者对城市功能空间的关注，以带型城市、田园城市、工业城市形态理论为代表。此后，新古典主义学派、行为学派及结构学派分别从土地成本、空间经济行为及资本积累等不同角度解释了城市空间结构背后的动因[31]。20世纪70—80年代后，网络通信技术、经济全球化对城市空间结构的影响开始被关注，大都市带、世界连绵城市空间结构理论被提出。我国城市物质空间结构研究以西方理论为依托形成了诸多成果，如以4个同心圈层划分中国城市空间结构[32]，或综合考虑行政中心、工业布局、交通设施及科技创新对城市空间结构的影响[33,34]。

城市社会空间结构关注城市社会分区，以“同心圆模式”“扇形模式”和“多核心模式”为代表[35]。20世纪60年代，人们对城市空间结构的理解由物质空间转向社会经济空间。20世纪70年代后，人们开始注重考虑居住决策、家庭构成及住房特征等因素影响下的居住空间形成过程。20世纪90年代后，全球化和信息化促使城市经济、社会、政治结构由传统的等级结构向网络结构转变[36]。21世纪以来，人们逐渐从居住、购物、出行等居民日常活动出发研究社会空间。同时，“流空间”理论逐渐盛行，国内外学者从信息

流、物流、人流、资本流、技术流视角认识城市社会结构。通过以上综述可以发现：① 无论是早期的区位论模型还是稍后的城市社会空间分异模型，都侧重对物质层面的土地利用空间及在此基础上的社会空间的理解，“流空间”视角促进了社会空间研究的范式转型；② 既有的空间结构解析研究从“克服空间距离成本”“追求经济利益最大化”的空间经济行为机理，逐渐发展为技术、经济、社会和政治等层面社会过程机理。

2 新时代背景下的城市空间结构变革

2.1 全球与地方政策演变——城市空间结构组织原则的转变

在生态文明与美丽中国建设、区域协调发展与新型城镇化、国土空间规划与治理等一系列发展战略下，城市也从单纯追求经济创造转向追求公平性、包容性、可塑性和韧性等多目标协同发展，为创新和发展城市空间结构理论提出了必然要求[37]。城市即是气候变化风险区，也是应对气候变化的前沿阵地，全球与地方政策倡导城市加强气候行动并改善环境；和谐社会建设逐步成为城市组织优先事项，促进城市向文明、族群等社会融合方向发展；公共产品和优质服务的人人平等获取，同样需要均等化、精准化的公共服务设施配置[38]。因此，新时代全球与地方城市空间结构优化原则将由追求经济利益最大化向城市多目标治理转变，需要加深对城市空间结构环境—经济—社会多维效应的理解，帮助制定城市空间结构调整优化方案。

2.2 全球化与生产网络形成——城市空间结构要素组织方式的转变

在全球价值链和供应链的作用下，产业经济活动的空间联系不断加强。经济全球化推动国际贸易迅速发展，城市资本、商品、劳动力等要素在规模、流动方向与速度上呈现复杂变化特征。例如城市内部要素由中心城市流到城市腹地转变为向城市外流动，跨国公司在城市不同地域形成新产业空间，也将改变城市经济要素的聚散分布及要素之间的关联关系。近年来我国在落实区域协调发展战略和“双循环”新发展格局中相关政策的制定、后疫情时代经济发展模式的更迭，以及中国在全球化进程中角色的改变，也将不断重塑和改革城市空间结构要素的流动格局和组织方式。在这样的情况下，传统的城市经济结构要素布局解析理论在解释知识流、信息流联系的城市产业空间格局时显得乏力，需要我们在新经济发展形势下重新思考城市空间结构变化机制。

2.3 城市居民追求的转变——城市空间结构优化发展目标的转变

居民对建设宜居城市与美好生活的渴望将对城市空间结构优化提出新的目标。在中国式现代化进程中，城市居民对高质量生活的需求日渐强烈，追求更舒适、更便利、更健康、更安全及拥有良好社交氛围的生活。因此，如何从“以人为本”的视角认识城市空间结构，诊断城市空间现存问题并寻求地方化解决方案，使城市空间结构要素组成与空间流动向着宜居城市目标发展，是新的社会发展背景下城市空间治理迫切需要解决的问题。传统的城市社会结构研究根据人口普查数据进行社会分区，然而在生活便利性目标导向下，未来研究需要更加关注人群活动及由此衍生出的公共服务空间可达性[39,40]等问题。以往的城市空间结构研究仅仅关注城市土地利用空间，然而在美好生活目标下，需要将人们的生活满意度、健康程度及安全感与土地利用空间建立联系，从而为制定更加宜居的城市规划和环境健康政策提供科学依据[41]。

2.4 信息与数字技术革命——城市空间结构要素构成的转变

当前以互联网产业化、工业智能化为特征的第四次工业革命正在并继续对城市空间结构产生巨大影响。5 G网络、3 D打印、物联网、机器人等信息通讯

技术（ICT）的发展促进了城市数字化转型，将虚拟网络空间叠加在城市物质空间基础上，城市空间结构已被重塑为“物质空间－社会空间－网络空间”耦合结构。作为一类新兴城市空间，网络空间既包括实体要素（网络基础设施、硬件设备等）也包括虚拟要素（软件系统、信息流动等），这与物质与社会空间中要素构成明显不同[42]。并且，网络空间对城市空间结构其他要素产生系统性影响。网络空间使以空间可达性作为制约因素的物质空间结构崩溃瓦解，导致城市“去中心化”[42]。根据“社会—技术变迁”理论[43]，依托虚拟空间形成的远程办公、网络消费、社交网络、智能制造、共享出行、城市大脑等智能服务，将使社会活动的空间联系更加灵活、弹性化和流动性。

3 新时代背景下城市空间结构的认识路径

3.1 立足人地关系理论，重构城市空间结构研究范式

为适应新时代城市空间结构变革，需要更加关注系统的要素变化、形成机制变化及综合效应，实现这些目标是传统理论无法满足的。人地关系理论强调人地系统的整体性、复杂性及结构性等特征[44]，这与新时代的城市空间结构特征和关注重点十分契合。因此，结合人地关系地域系统理论重构研究范式，可以沿着3个要点对城市空间结构基本问题进行重新反思：① *复杂层次性*。人地系统中一种子系统或要素结构的变动，会引起其他结构发生变动[45]。新时代背景下认识城市空间结构需要将网络空间作为城市人地系统内部的层次，并关注网络空间与物质空间及社会空间之间的复杂相互作用关系。② *整体开放性*。全球化背景下理解城市人地系统结构的变化需要充分考虑外部的新经济社会环境对城市整体结构的影响。为了辨识全球跨区域的经济、社会、环境协同问题，迫切需要重塑城市系统的整体观，加强城市空间结构时空变化远程耦合机制研究。③ *效益调控性*。优化人地系统需要按照综合效益较优原则评价和遴选空间组织方案[46]。居民对高质量生活的需求，从而对城市提出多目标要求，需要基于对水、土、气、生、人等多要素过程耦合，探究城市物质结构—社会结构—网络结构之间的交互效应关系，服务于联合国2030年可持续发展目标。在上述对城市空间结构基本问题的重新反思中，复杂层次性对应不同的城市空间结构层次构成、整体性对应更多的城市空间结构形成机理、可调控性对应更全面的耦合机制，对上述问题的回答需要革新研究方法和数据源，也就意味着城市空间结构研究范式的系统性转变，即范式转变[47]。

3.2 重新认识城市空间结构载体空间

新时代城市空间结构载体空间变化主要体现在但不限于技术革命下虚拟空间对物质空间影响愈加强烈、生态文明建设背景下气候变化问题促使城市加强生态环境结构调整，以及和谐社会建设中移民问题带来社会结构变迁的关注，同时技术革命促使城市空间结构分析体系向多源异构数据应用与智能化测度方向发展（图1）。应加强对网络空间的系统组织架构的剖析；理解城市外来人口迁入对城市社会地理分区的影响；关注生物圈、大气圈、水圈和岩石圈等生态环境系统全要素的时空演变过程。当前，笔者已经积累了一些对城市载体空间的创新认识，但主要针对具体的区域或少数几个要素，然而由于数据源的缺乏，未能对多要素、多层次、多时空尺度的城市空间结构特征进行集成，形成对城市复杂人地系统结构的综合认知。

3.3 强化城市空间结构关系的解析

系统结构的复杂层次性、整体开放性及效益可调节性都强调了城市空间结构的“关系”本质，分别侧重要素之间的相关关系、外界环境与系统整体的因果关系及结构之间的效应关系。应加强虚拟空间与物质空间、社会空间相互作用机制的认知；移民、贸易全球化等城市内外部社会经济新问题对城市内部社会结

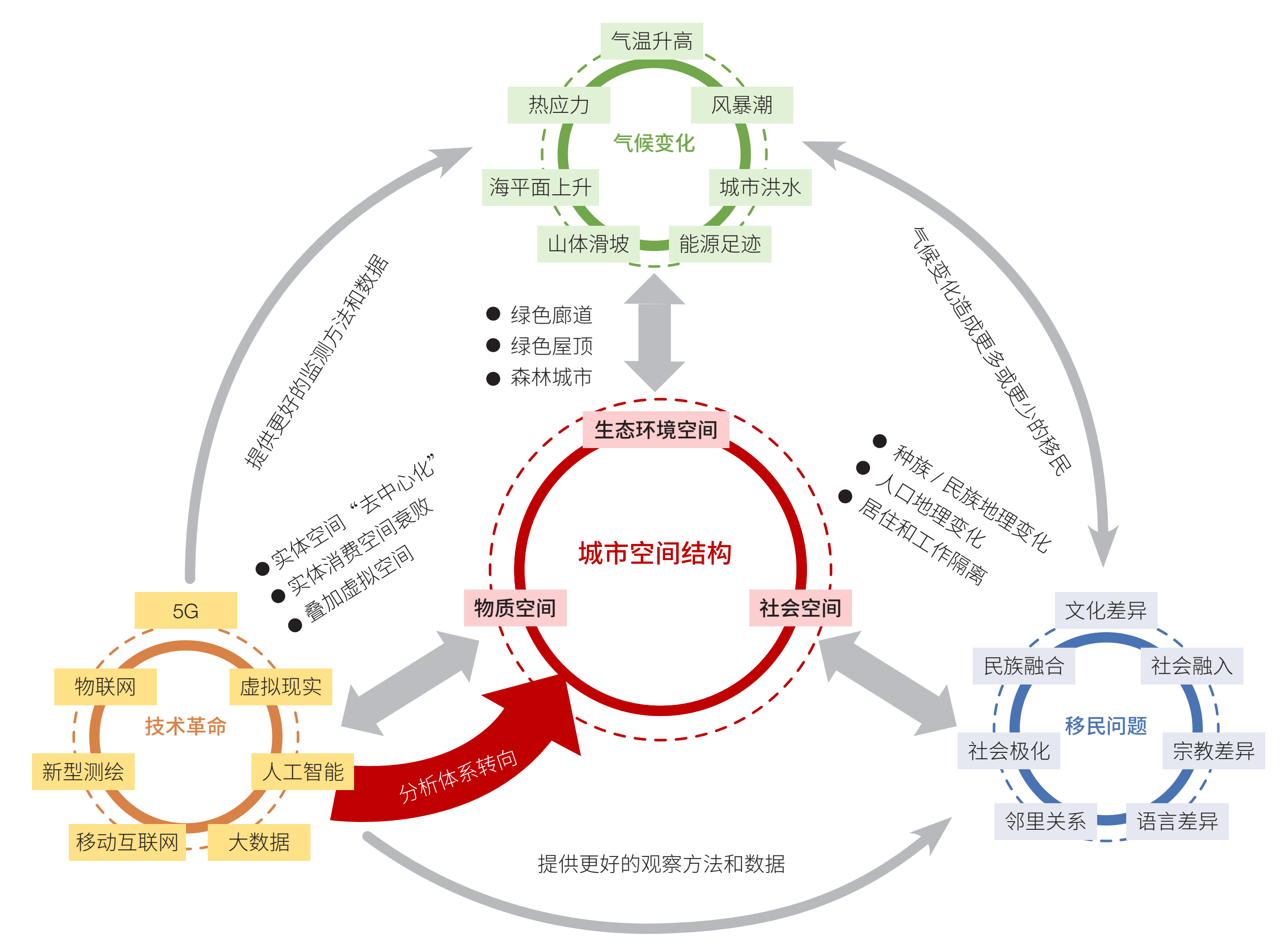


图1　城市空间结构载体空间变化典型影响因素

Figure 1　Typical factors influencing changes of urban spatial structure carriers

构变化影响的理解；人的行为与环境社会要素的效应关系挖掘。然而，目前对城市子系统结构及其要素之间相互作用关系的研究仍主要停留在对概念和特征的描述阶段，缺乏对相互作用机制理论与实践的深入探讨，主要原因是缺乏恰当的方法和数据源将这些多维、动态、非线性的相互作用关系可视化和模型化。更重要的是，已有研究多关注单一关系层面，亟待对城市子系统内部组成关系、与外部环境关系及结构之间效应关系的综合探讨。

3.4 革新城市空间结构测度体系

随着城市空间结构载体发生新的变革，以及对载体空间复杂性与相互作用关系认知需求的增加，亟需革新城市空间结构测度体系以满足其在多要素、多层次、多尺度、不确定性、非线性认知方面的需要（图2）。在新型数据源上，近年来新出现的"众包"地理空间大数据由于其粒度精细性、语义丰富性等特点，有望提升城市空间结构多尺度、多要素、多层次感知能力。例如，电子地图的兴趣点（POI）数据被证明能够更精细化地表征社会经济活动强度及空间功能复合程度[48,49]，实现不同尺度城市空间结构识别[50]。个体实时移动轨迹（LBS）数据，能够从"对人的行为观测"视角反映城市空间结构特征[51]等。生态环境传感器网络及手持终端设备提供的微环境数据信息[53]则进一步提升了城市空间结构多要素、多尺度感知

能力[52]。

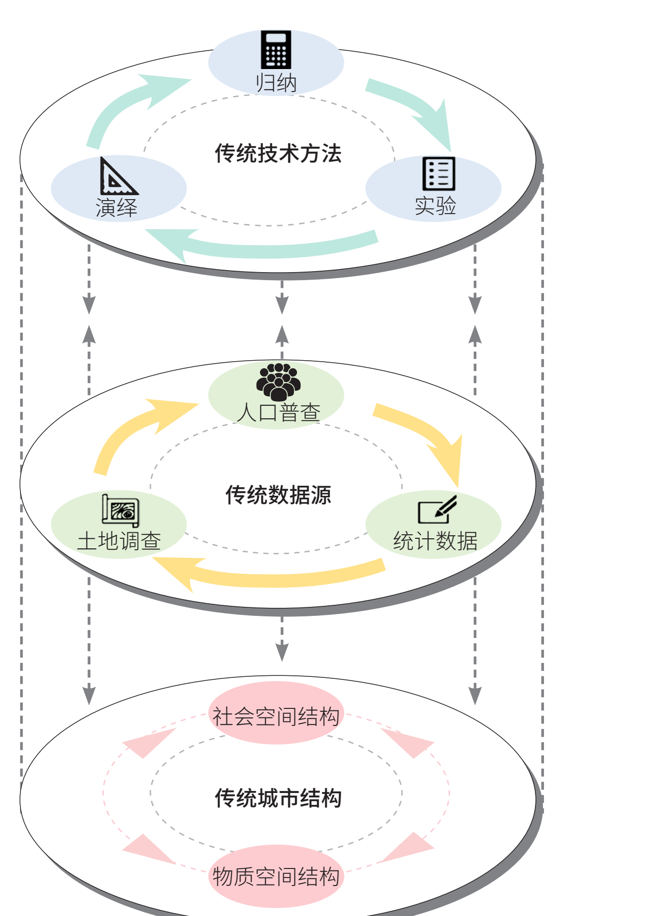
在新技术方法上，应充分借助现代地理信息技术、大数据及人工智能等新技术方法，破解新时代城市空间结构多要素性、复杂性、不确定性、非线性认知难题。应用遥感和GIS技术结合生态学理论方法，支持能流、物流、信息流等多要素传递过程的表征；运用空间分析技术可以实现拓扑、方向、距离、密度、聚类、协同等格局特征的分析；新型时空聚类特征挖掘、时空关联规则挖掘，以及机器学习方法能够模拟多要素之间的潜在非线性关系；城市空间结构展示和可视化管理系统多分散在城市不同部门、不同行政主体，现阶段应借助数据中心平台整合不同数据源和方法实现城市空间结构的协同可视化。

因此，未来应该运用智能化探索型数据分析手段，进行城市空间结构的多维表达、耦合关系模拟及时空可视化管理。尽管目前积累了一些基于大数据的研究，但多数以城市规划实践为目标，注重数据和方法的应用，而对于数据采集、处理、转换技术及建模分析方法方面存在的问题没有进行系统整合、评价和优化，数据中心平台也需要在以往“协同展示”功能的基础上顺应城市复杂系统认知的需要，实现全要素及其关系的实时感知与调控。

4 应对新时代城市空间结构认识挑战的关键思路举措

4.1 城市空间结构理论完善

新时代的城市空间结构理论是在城市人地关系地域系统理论框架下，从载体空间构成到复杂耦合关系



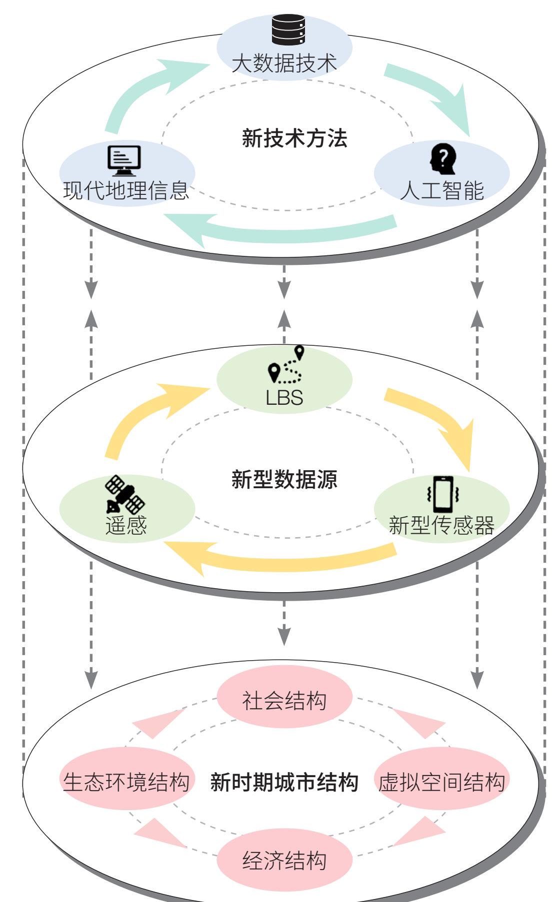


图2　城市空间结构测度体系的革新

Figure 2　Shift of cognition and analysis system of urban spatial structure

多视角整合的理论体系。需要围绕城市空间结构要素空间格局、演变过程、影响因素、相关关系、效应机制等理论要点，充分总结并汇集各类要素观测、实证研究和实践应用相关成果革新传统理论，支撑城市空间结构理解与优化。近年来相关领域学者已经发展了诸多城市空间结构认知理论，如流空间理论、世界城市网络、人—地—网关系理论等，但还需要科学评估这些理论的区域适用性、时间可持续性、技术可行性，不断完善城市空间结构理论库。

4.2 城市空间结构解析技术集成

面对当前城市空间结构分析技术需要进一步整合、评价与优化的问题，应充分借助社会学、环境学、生态学、经济学等多学科方法，建立包含地理信息表达模型、定量评价模型、尺度转换模型、应用分析模型等综合模型体系。鼓励将空间关系定量评价模型和参与式访谈等传统分析方法结合，以便在各种因素之间建立健全因果链。充分论证现有的数理模型、空间分析、复杂网络、可视化与预测模拟等方法在城市空间结构分析方面的有效性、可行性。与此同时，更需要前瞻布局更多智能化方法研发，做好先进技术储备。

4.3 城市多源数据融合应用

考虑到当前新型数据源各具优势，未来应该充分融合应用这些新型数据。通过数据之间的语义互补来增强城市空间结构多维、动态特征的表达能力，借助多源数据来交互验证城市空间结构识别结果以降低其不确定性。不仅要重视多源新型数据融合，也要研究新型数据和传统“小数据”的组合[53]。在应用层面，需要建立城市天地空数据观测、采集、处理网络。重点突破多源大数据高效关联组织与存储技术，多元、多尺度、多语义、多模态特征协同表达、挖掘与知识图谱构建技术，以提高多源大数据质量和增值服务价值[54]。此外，建立健全全球范围多地域、多部门、多学科数据共享机制也是重要工作。

4.4 城市数字孪生平台建设

针对以往数据中心平台无法顺应新时期城市空间结构复杂化的问题，未来的研究平台应该从多源数据整合共享入手，对城市要素进行全要素、全过程展示，帮助研究人员、政策制定者、从业者和公民诊断城市问题，生成认识或改造城市空间的知识和解决方案。数字孪生技术有望更好地满足这些需求，未来数字孪生城市的建设，要提升实体物质环境的真实模拟程度，破解3D空间中要素可视化、分析与模拟难题[12]，同时也需要丰富要素、关系和事件维度的可视化表达内容，提升城市结监测预警能力。

5 结论与讨论

5.1 小结

重新认识城市空间结构是当今全球化、信息化、可持续发展目标的必然要求。建立于工业革命初期并发展至今的城市空间结构理论在当前城市研究与规划实践中出现诸多不适应性，亟需革新传统认知体系以适应城市治理需要。在人地关系地域系统理论脉络下理解城市空间结构的复杂载体构成和多层耦合关系，一方面架起了联系传统城市空间结构时空模式不同理论之间的桥梁，也建立了一条与城市空间结构解析学派之间的对话通道，希望本文的观点为新时期城市空间结构研究提供一定的有益借鉴，并为国家城市治理提供决策理论支撑。

5.2 未来研究展望

需要强调的是，本文提出的新理论观点需要实证检验并在后续的研究中不断改进和深化，也要针对不同的研究尺度和城市发展阶段进行权衡取舍。例如，在全球尺度上，应该从整体性视角，研究新经济环境下城市整体变化；在城市尺度上，应该从复杂性和可调控性思维入手，关注城市经济—社会—环境关系的问题；在欧美国家，多数城市已经进入了城镇化后期并走向区域化和全球化，这些特征适合从整体性视角

解读；而对于处在快速工业化、城镇化、社会经济转型阶段的城市，应该从复杂性和可调控性思维出发对城市系统进行全面考察。

当前，中国在快速城市化和社会经济转型进程中，面临着一系列的城市问题与挑战。城市人口以远超西方发达国家的速度在快速增长[55]；大城市人口密度居高；不同于西方城市受种族家庭等因素影响，中国城市社会结构涉及外来人口比重、职业类型、住房状况以及受教育程度等。而在城市空间治理中面临人口集聚、过度通勤、医疗与教育资源分配不公、“城中村”及“城市边缘区”等难题，解决这些问题有赖于中国特色的理论支撑。在未来城市空间结构认知与规划调控中，要特别关注人地关系趋紧的区域[56]，加强传统老工业区、生态脆弱区、深度贫困区、城市连绵区等典型城市空间结构的认知。回答诸如“如何从人的行为视角识别生产、生活、生态空间边界”“网络空间对城市土地利用强度影响如何”“产业重组、生态重建与社会转型的空间传导机制是什么”等系列兼具理论与现实的重大科学问题，将有助于加强对新时期城市空间结构的认识与优化，建立促进城市系统协调与可持续发展的典型范式，对于支撑我国城乡融合、美丽中国、生态文明建设等重大战略具有重要价值和实践意义。同时，中国典型城市空间结构研究也可以促进基于中国经验的知识生产，为国际理论比较研究作出中国贡献。

参考文献

1 Knox P L. and Marston S. Places and Regions in Global Context: Human Geography. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2015: 152-153.

2 任启平. 人地关系地域系统结构研究——以吉林省为例. 长春: 东北师范大学, 2005: 63-65.
Ren Q P. Study on structure of man-land relationship areal system— A case study of Jilin province. Changchun: Northeast Normal University, 2005: 63-65. (in Chinese)

3 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论. 自然杂志, 1990, 12(1): 3-10.
Qian X S, Yu J Y, Dai R W. A new field of science—Open complex giant system and its methodology. Chinese Journal of Nature, 1990, 12(1): 3-10. (in Chinese)

4 陆大道, 郭来喜. 地理学的研究核心——人地关系地域系统——论吴传钧院士的地理学思想与学术贡献. 地理学报, 1998, (2): 3-11.
Lu D D, Guo L X. Man-earth areal system—The core of geographical study—On the geographical thoughts and academic contributions of academician Wu Chuanjun. ACTA Geographica Sinca, 1998, (2): 3-11. (in Chinese)

5 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects 2018: Key Facts. (2018-10-01)[2022-10-30]. https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf.

6 Solecki W, Rosenzweig C, Dhakal S, et al. City transformations in a 1.5 °C warmer world. Nature Climate Change, 2018, 8: 177-181.

7 Bourne L S. Internal structure of the city: Readings on urban form, growth, and policy. Historian, 1982, 26(1): 1-18.

8 刘彦随. 现代人地关系与人地系统科学. 地理科学, 2020, 40(8): 1221-1234.
Liu Y S. Modern human-earth relationship and human-earth system science. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(8): 1221-1234. (in Chinese)

9 陈述彭. 地理科学的信息化与现代化. 中国科学院院刊, 2001, 16(4): 289-291.
Chen S P. Informatization and modernization of geosciences. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2001, 16(4): 289-291. (in Chinese)

10 樊杰, 郭锐. 新型城镇化前置条件与驱动机制的重新认知. 地理研究, 2019, 38(1): 3-12.
Fan J, Guo R. Re-recognition of precondition and driving mechanism of new-type urbanization. Geographical Research, 2019, 38(1): 3-12. (in Chinese)

11 王士君, 廉超, 赵梓渝. 从中心地到城市网络——中国城镇体系研究的理论转变. 地理研究, 2019, 38(1): 64-74.
Wang S J, Lian C, Zhao Z Y. From central place to city network: A theoretical change in China’s urban system

study. Geographical Research, 2019, 38(1): 64-74. (in Chinese)

12 盛科荣, 王云靓, 樊杰. 中国城市网络空间结构的演化特征及机理研究——基于上市公司500强企业网络视角. 经济地理, 2019, 39(11): 84-93.

Sheng K R, Wang Y J, Fan J. Dynamics and mechanisms of the spatial structure of urban network in China: A study based on the corporate networks of top 500 public companies. Economic Geography, 2019, 39(11): 84-93. (in Chinese)

13 黄春林, 孙中昶, 蒋会平, 等. 地球大数据助力"可持续城市和社区"目标实现: 进展与挑战. 中国科学院院刊, 2021, 36(8): 914-922.

Huang C L, Sun Z C, Jiang H P, et al. Big earth data supports sustainable cities and communities: Progress and challenges. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(8): 914-922. (in Chinese)

14 顾朝林, 谭纵波, 刘宛, 等. 气候变化、碳排放与低碳城市规划研究进展. 城市规划学刊, 2009, (3): 38-45.

Gu C L, Tan Z B, Liu W, et al. A study on climate change, carbon emissions and low-carbon city planning. Urban Planning Forum, 2009, (3): 38-45. (in Chinese)

15 曹小曙, 杨文越, 黄晓燕. 基于智慧交通的可达性与交通出行碳排放——理论与实证. 地理科学进展, 2015, 34(4): 418-429.

Cao X S, Yang W Y, Huang X Y. Accessibility and CO_2 emissions from travel of smart transportation: Theory and empirical studies. Progress in Geography, 2015, 34(4): 418-429. (in Chinese)

16 于贵瑞, 朱剑兴, 徐丽, 等. 中国生态系统碳汇功能提升的技术途径: 基于自然解决方案. 中国科学院院刊, 2022, 37(4): 490-501.

Yu G R, Zhu J X, Xu L, et al. Technological approaches to enhance ecosystem carbon sink in China: Nature-based solutions. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(4): 490-501.(in Chinese)

17 赵瑞东, 方创琳, 刘海猛. 城市韧性研究进展与展望. 地理科学进展, 2020, 39(10): 1717-1731.

Zhao R D, Fang C L, Liu H M. Progress and prospect of urban resilience research. Progress in Geography, 2020, 39(10): 1717-1731. (in Chinese)

18 陆大道, 陈明星. 关于"国家新型城镇化规划(2014—2020)"编制大背景的几点认识. 地理学报, 2015, 70(2): 179-185.

Lu D D, Chen M X. Several viewpoints on the background of compiling the "National New Urbanization Planning (2014-2020)". ACTA Geographica Sinica, 2015, 70(2): 179-185. (in Chinese)

19 陈明星.《2017年政府工作报告》分析与解读——人文与经济地理学视角. 中国科学院院刊, 2017, 32(4): 426-434.

Chen M X. Understanding and analysis of 2017 government work report from view of human and economic geography. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017, 32(4): 426-434. (in Chinese)

20 樊杰, 郭锐. 新型城镇化前置条件与驱动机制的重新认知. 地理研究, 2019, 38(1): 3-12.

Fan J, Guo R. Re-recognition of precondition and driving mechanism of new-type urbanization. Geographical Research, 2019, 38(1): 3-12. (in Chinese)

21 柴彦威, 赵莹, 刘云刚. 城市地理学研究方法的进展与展望. 中国科学院院刊, 2011, 26(4): 430-435.

Chai Y W, Zhao Y, Liu Y G. Research progress and prospect of urban geography methodologies and methods. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2011, 26(4): 430-435. (in Chinese)

22 周素红, 廖伊彤, 郑重. "时—空—人"交互视角下的国土空间公共安全规划体系构建. 自然资源学报, 2021, 36(9): 2248-2263.

Zhou S H, Liao Y T, Zheng Z. The framework of public security spatial planning from the perspective of "Human-Space-Time" interaction. Journal of Natural Resources, 2021, 36(9): 2248-2263. (in Chinese)

23 王德, 李丹, 傅英姿. 基于手机信令数据的上海市不同住宅区居民就业空间研究. 地理学报, 2020, 75(8): 1585-1602.

Wang D, Li D, Fu Y Z. Employment space of residential quarters in Shanghai: An exploration based on mobile signaling data. ACTA Geographica Sinica, 2020, 75(8): 1585-1602. (in Chinese)

24 吴炳方, 张鑫, 曾红伟, 等. 资源环境数据生成的大数据方法. 中国科学院院刊, 2018, 33(8): 804-811.

Wu B F, Zhang X, Zeng H W, et al. Big data methods for environmental data. Bulletin of Chinese Academy of

Sciences, 2018, 33(8): 804-811. (in Chinese)
25 李清泉, 李德仁. 大数据GIS. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39(6): 641-644.
Li Q Q, Li D R. Big Data GIS. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2014, 39(6): 641-644. (in Chinese)
26 刘瑜, 肖昱, 高松, 等. 基于位置感知设备的人类移动研究综述. 地理与地理信息科学, 2011, 27(4): 8-13.
Liu Y, Xiao Y, Gao S, et al. A review of human mobility research based on location aware devices. Geography and Geo-Information Science, 2011, 27(4): 8-13. (in Chinese)
27 甄峰, 李哲睿, 谢智敏. 基于人口流动的城市内部空间结构特征及其影响因素分析——以南京市为例. 地理研究, 2022, 41(6): 1525-1539.
Zhen F, Li Z R, Xie Z M. Analysis of urban internal spatial structure characteristics and its influencing factors based on population flow: A case study of Nanjing. Geographical Research, 2022, 41(6): 1525-1539. (in Chinese)
28 薛冰, 李京忠, 肖骁, 等. 基于兴趣点(POI)大数据的人地关系研究综述:理论、方法与应用. 地理与地理信息科学, 2019, 35(6): 51-60.
Xue B, Li J Z, Xiao X, et al. Overview of man-land relationship research based on POI data: Theory, method and application. Geography and Geo-Information Science, 2019, 35(6): 51-60. (in Chinese)
29 李小建, 李国平, 曾刚, 等. 经济地理学. 北京: 高等教育出版社, 2018: 67-77.
Li X J, Li G P, Zeng G, et al. Economic Geography. Beijing: Higher Education Press, 2018: 67-77. (in Chinese)
30 许学强, 周一星, 宁越敏. 城市地理学. 北京: 高等教育出版社, 2011: 204.
Xu X Q, Zhou Y X, Ning Y M. Urban Geography. Beijing: Higher Education Press, 2011: 204. (in Chinese)
31 唐子来. 西方城市空间结构研究的理论和方法. 城市规划汇刊, 1997, (6): 1-11.
Tang Z L. Descriptions and explanations of urban spatial structure: A review of research developments. Urban Planning Forum, 1997, (6): 1-11. (in Chinese)
32 吴启焰, 朱喜钢. 城市空间结构研究的回顾与展望. 地理学与国土研究, 2001, (2): 46-50.
Wu Q Y, Zhu X G. Review and prospect of the research on urban spatial structure. Geography and Territorial Research, 2001, (2): 46-50. (in Chinese)
33 朱锡金. 城市结构的活性. 城市规划学刊, 1987, (5): 7-13.
Zhu X J. Activity of the urban structure. Urban Planning Forum, 1987, (5): 7-13. (in Chinese)
34 胡俊. 中国城市:模式与演进. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995: 3-7.
Hu J. Chinese cities: Their evolution and patterns. Beijing: China Architecture & Building Press, 1995: 3-7. (in Chinese)
35 顾朝林, 王法辉, 刘贵利. 北京城市社会区分析. 地理学报, 2003, (6): 917-926.
Gu C L, Wang F H, Liu G L. Study on urban social areas in Beijing. ACTA Geographica Sinica, 2003, (6): 917-926. (in Chinese)
36 李志刚, 吴缚龙. 转型期上海社会空间分异研究. 地理学报, 2006, (2): 199-211.
Li Z G, Wu F L. Sociospatial differentiation in transitional Shanghai. ACTA Geographica Sinica, 2006, (2): 199-211. (in Chinese)
37 樊杰. 面向中国空间治理现代化的科技强国适应策略. 中国科学院院刊, 2020, 35(5): 564-575.
Fan J. Adaptative strategy of powerful country of science and technology for modernization of China's space governance. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(5): 564-575. (in Chinese)
38 陈明星, 隋昱文, 郭莎莎. 中国新型城镇化在"十九大"后发展的新态势. 地理研究, 2019, 38(1): 181-192.
Chen M X, Sui Y W, Guo S S. Perspective of China's new urbanization after 19th CPC National Congress. Geographical Research, 2019, 38(1): 181-192. (in Chinese)
39 Xue B, Xiao X, Li J Z, et al. Multi-source data-driven identification of urban functional areas: A case of Shenyang, China. Chinese Geographical Science, 2023, 33(1): 21-35.
40 Cui J X, Liu F, Janssens D, et al. Detecting urban road network accessibility problems using taxi GPS data. Journal of Transport Geography, 2016, 51: 147-157.
41 陈明星, 周园, 汤青, 等. 新型城镇化、居民福祉与国土空间规划应对. 自然资源学报, 2020, 35(6): 1273-1287.
Chen M X, Zhou Y, Tang Q, et al. New-type urbanization, well-being of residents, and the response of land spatial planning. Journal of Natural Resources, 2020, 35(6): 1273-

1287. (in Chinese)

42 郭启全, 高春东, 郝蒙蒙, 等. 发展网络空间可视化技术支撑网络安全综合防控体系建设. 中国科学院院刊, 2020, 35(7): 917-924.

Guo Q Q, Gao C D, Hao M M, et al. Develop visualization technology of cyberspace to support construction of comprehensive prevention and control system of cyber security. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(7): 917-924. (in Chinese)

43 Geels F W, Schwanen T, Sorrell S, et al. Reducing energy demand through low carbon innovation: A sociotechnical transitions perspective and thirteen research debates. Energy Research & Social Science, 2018, 40: 23-35.

44 樊杰. "人地关系地域系统"是综合研究地理格局形成与演变规律的理论基石. 地理学报, 2018, 73(4): 597-607.

Fan J. Territorial System of Human-environment Interaction: A theoretical cornerstone for comprehensive research on formation and evolution of the geographical pattern. ACTA Geographica Sinica, 2018, 73(4): 597-607. (in Chinese)

45 中国辩证唯物主义研究会. 系统科学的哲学探讨. 北京: 中国人民大学出版社, 1988: 307-308.

Chinese Dialectical Materialism Research Association. Philosophical Discussion of System Science. Beijing: China Renmin University Press, 1988: 307-308. (in Chinese)

46 吴传钧. 论地理学的研究核心——人地关系地域系统. 经济地理,1991, (3): 1-6.

Wu C J. On the research core of geography—The regional system of man-land relationship. Economic Geography, 1991, (3): 1-6. (in Chinese)

47 Kuhn T. The Structure of Scientific Revolutions. Beijing: Peking University Press, 1962.

48 薛冰, 肖骁, 李京忠, 等. 基于兴趣点(POI)大数据的东北城市空间结构分析. 地理科学, 2020, 40(5): 691-700.

Xue B, Xiao X, Li J Z, et al. Analysis of spatial economic structure of Northeast China cities based on points of interest big data. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(5): 691-700. (in Chinese)

49 薛冰, 肖骁, 李京忠, 等. 基于POI大数据的城市零售业空间热点分析——以辽宁省沈阳市为例. 经济地理, 2018, 38(5): 36-43.

Xue B, Xiao X, Li J Z, et al. POI-based analysis on retail's spatial hot blocks at a city level: A case study of Shenyang, China. Economic Geography, 2018, 38(5): 36-43. (in Chinese).

50 薛冰, 赵冰玉, 肖骁, 等. 基于POI大数据的资源型城市功能区识别方法与实证——以辽宁省本溪市为例. 人文地理, 2020, 35(4): 81-90.

Xue B, Zhao B Y, Xiao X, et al. A poi data-based study on urban functional areas of the resources-based city: A case study of Benxi, Liaoning. Human Geography, 2020, 35(4): 81-90. (in Chinese)

51 Zhu R X, Lin D A, Jendryke M, et al. Geo-tagged social media data-based analytical approach for perceiving impacts of social events. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2018, 8(1): 15.

52 Bai X M, Dawson R J, Ürge-Vorsatz D, et al. Six research priorities for cities and climate change. Nature, 2018, 555: 23-25.

53 郭书海, 吴波, 张玲妍, 等. 土壤环境大数据:构建与应用. 中国科学院院刊, 2017, 32(2): 202-208.

Guo S H, Wu B, Zhang L Y, et al. Soil environmental big data: Construction and application. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017, 32(2): 202-208. (in Chinese)

54 薛冰, 李京忠, 肖骁, 等. 基于大数据的城市人地关系分析与应用计算平台——2018年中国地理学会地理大数据计算环境"优秀实用案例". 全球变化数据学报(中英文), 2018, 2(3): 290-294.

Xue B, Li J Z, Xiao X, et al. A big-data-based platform for human-land relations analysis and application in urban areas—The GSC best practice data computing environment 2018. Journal of Global Change Data & Discovery, 2018, 2(3): 290-294. (in Chinese)

55 Angel S, Parent J, Civco D L, et al. The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000-2050. Progress in Planning, 2011, 75(2): 53-107.

56 薛冰, 肖骁, 李京忠, 等. 基于POI大数据的老工业区房价影响因素空间分异与实证. 人文地理, 2019, 34(4): 106-114.

Xue B, Xiao X, Li J Z, et al. POI-based analysis on the affecting factors of property prices' spatial distribution in the traditional industrial area. Human Geography, 2019, 34(4): 106-114. (in Chinese)

Urban spatial structural change and transformation in the new era

XIAO Xiao[1,2,3] XIE Xiaoping[2] LI Jingzhong[1,4] XIE Xiao[1] XUE Bing[1*]

（1 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2 Faculty of Architecture, Technische Universität Dresden, Dresden D01069, Germany;

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4 College of Urban and Environmental Sciences, Xuchang University, Xuchang 461000, China）

Abstract Urban spatial structure is an important part of the research on the regional system of the human-land relationship, and it is also an important starting point for the sustainable development of cities. How to scientifically understand the urban spatial structure in the new era is the basis for optimizing its regulation. This study briefly reviews the historical background of traditional urban spatial structure theory and points out the transformational turn of urban spatial structure in terms of organizational principles, organizational methods, optimization goals and elements through the analysis of technological revolution, policy, and socio-economic environment in the new era, and clarifies the limitations of traditional urban structure theory in explaining urban structure in the new era. This study proposes a path for understanding urban spatial structure in the new era, including reconstructing the research paradigm of urban spatial structure from the theory of human-land territorial system, re-understanding the carrier space of urban spatial structure, strengthening the analysis of urban structure relationship, and innovating the measurement system of urban spatial structure. The key measures to deal with the challenges of urban spatial structure cognition in the future, namely, reconstructing the theory of urban spatial structure, integrating key technologies of urban spatial structure analysis, integrating and apply multi-source data and building a digital twin platform for urban spatial structure optimization and regulation.

Keywords urban governance, urban spatial structure, sustainable development, New Era

肖　骁　中国科学院沈阳应用生态研究所与德累斯顿工业大学联合培养工学博士。主要从事人地系统分析与多源大数据应用研究。E-mail: rmoxiao@163.com

XIAO Xiao Doctor of Engineering, jointly trained by Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences and Technische Universität Dresden. She has been engaged in research of human-land system analysis and multi-source big data application. E-mail: rmoxiao@163.com

薛　冰　中国科学院沈阳应用生态研究所研究员，中国科学院区域发展青年学者、德国洪堡学者。主要研究领域：人地关系、产业生态及区域可持续治理研究等。E-mail: xuebing@iae.ac.cn

XUE Bing Research Scientist at Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Humboldt scholar. His research focuses on human-land relationship, industrial ecology as well as regional sustainable governance. E-mail: xuebing@iae.ac.cn

■责任编辑：张帆

*Corresponding author